动 物 学 研 究 2010，Jun. 31 (3)：293−302 CN 53-1040/Q ISSN 0254-5853
Zoological Research DOI：10.3724/SP.J.1141.2010.03293

# 无量山西黑冠长臂猿二重唱的声谱结构和时间特征

范朋飞[1,2]，蒋学龙[2,*]，刘长铭[3]，罗文寿[3]

(1. 大理学院 东喜马拉雅资源与环境研究所，云南 大理 671000；2. 中国科学院昆明动物研究所 遗传资源与进化国家重点实验室，云南 昆明 650223；3. 云南无量山国家级自然保护区景东管理局，云南 景东 676200)

**摘要**：2003 年 3 月—2004 年 3 月对无量山大寨子 3 群西黑冠长臂猿的二重唱的时间特征进行了监测。于 2007 年 3 月和 2008 年 3 月利用 Sony TC-D5 Pro2 录音机、Sony C-76 指向性话筒和 Sony 录音磁带对其二重唱进行了录音，对录音效果最好的 5 个声音用 Signal/RTS 4.0 软件进行声谱分析。对无量山西黑冠长臂猿二重唱的声谱结构和时间特征的研究结果表明，雄性西黑冠长臂猿的声音由起始音节、简单的重复音节和调节音节组成。根据频率变化的强度，可以将调节音节分为弱调节音节和强调节音节。强调节音节的特征是第二个音节具有非常明显的频率变化，有时第三个音节有类似变化，变频时的最高频率可达到 5 828 Hz。雌性长臂猿一般只会发出一种类型的声音，即固定而刻板的激动鸣叫。根据激动鸣叫是否完整可以分为成功的激动鸣叫和失败的激动鸣叫。典型的西黑冠长臂猿二重唱通常由成年雄性发起，并占主导地位，且一般由雄性结束。雌性激动鸣叫结束后，雄性马上发出调节音节与之配合，雄性调节音节与雌性激动鸣叫的时间间隔平均为 2.7 s。平均每个群体的鸣叫频次为 53%。如果发生鸣叫，一个群体平均每天鸣叫 1.09 次。91.5%的鸣叫发生在日出前 0.5 h 至日出后 3 h 之间，其中 48.6%的鸣叫发生在日出后 1 h 内。在一次鸣叫中，雌性平均发出成功的激动鸣叫 4.6 次，两次成功的激动鸣叫之间的时间间隔平均为 115 s。群体间均未显示鸣叫频次和持续时间上的差异，但激动鸣叫次数和激动鸣叫时间间隔具有显著差异。

**关键词**：西黑冠长臂猿；二重唱；声谱结构；时间特征；无量山
**中图分类号**：Q959.84；Q62；Q959.840.9 **文献标志码**：A **文章编号**：0254-5853-(2010)03-0293-10

# Sonogram Structure and Timing of Duets of Western Black Crested Gibbon in Wuliang Mountain

FAN Peng-Fei[1,2], JIANG Xue-Long[2,*], LIU Chang-Ming[3], LUO Wen-Shou[3]

(1. *Institute of Eastern-Himalaya Biodiversity Research, Dali University, Dali Yunnan* 671000, *China*; 2. *State Key Laboratory of Genetic Resources and Evolution, Kunming Institute of Zoology, the Chinese Academy of Sciences, Kunming Yunnan* 650223, *China*; 3. *Jingdong Nature Reserve Management Bureau, Yunnan Wuliangshan National Nature Reserve, Jingdong Yunnan* 676200, *China*)

**Abstract:** We studied the sonogram and timing of duets of three groups of Central Yunnan western black crested gibbons (*Nomascus concolor jingdongensis*) in Dazhaizi, Mt. Wuliang. The study was based on a 13-month field observation period, from March 2003 to March 2004. A Sony TC-D5 Pro2 recorder, Sony C-76 directed microphone, and Sony tape were used to record the duet bouts in March 2007 and March 2008. Signal/RTS 4.0 was used to analyze the sonogram of the duet. We first presented sonograms of all kinds of sound units in the duets made by western black crested gibbons. The adult male could produce boom, aa notes and modulated figures. Adult females produced great call or abortive great call. The two adult females in each group usually produced great calls synchronously. After the great call, males always immediately produced a modulated figure to coordinate with the female. The interval between the modulated figure and great call was 2.7 s. On average, groups sang on 53% of days monitored, and sang 1.09 duet bouts per singing day. 91.5% of the duets were produced between half an hour before and three hours after the sunrise. The average duration of the duets was 12.9 min, and females produced 4.6 great calls during one duet bout. The intervals between two successive great calls were generally 115 s. There was no significant difference in the duration and frequency of the duet bouts, but there was significant difference in the number of the great calls and intervals between great calls among groups.

---

收稿日期：2009-09-29；接受日期：2009-12-04
基金项目：大理学院博士启动基金(KY430840)；国家自然科学基金（30670270）；中国科学院知识创新工程重要方向项目(KSCX2-SW-119)
*通讯作者（Corresponding author），E-mail: jiangxl@mail.kiz.ac.cn
第一作者简介：范朋飞（1981－），男，湖北天门人，博士，主要从事长臂猿行为生态和保护生物学研究。E-mail: fanpf1981@gmail.com

**Key words:** Western black crested gibbon; Duet; Sonogram; Time; Wuliang Mountain

长臂猿是一类生活在东南亚热带和亚热带常绿阔叶林中的小型类人猿。现生长臂猿被分为 4 属 16 种（Geissmann, 2007），其中中国有 3 属 6 种，即：西黑冠长臂猿（*Nomascus concolor*）、东黑冠长臂猿（*N. nasutus*）、海南长臂猿(*N. hainanus*)、北白颊长臂猿（*N. leucogenys*）、东白眉长臂猿(*Hoolock leuconedys*)和白掌长臂猿（*Hylobates lar*）。它们都被中国政府列为国家一级重点保护动物。西黑冠长臂猿包含 4 个亚种：指名亚种（*N. c. concolor*）、景东亚种（*N. c. jingdongensis*）、滇西亚种（*N. c. furvogaster*）和老挝亚种（*N. c. lu*）。其中景东亚种和滇西亚种只分布在中国云南；指名亚种分布于中国云南和越南北部；老挝亚种分布于老挝西北部。由于中国拥有世界上绝大多数的西黑冠长臂猿种群，中国在对西黑冠长臂猿这一极度濒危（IUCN, 2008）物种的保护中占有举足轻重的地位（Jiang et al, 2006）。

大多数长臂猿生活在一夫一妻的家庭群中，一个群体通常由一对成年个体和其 2~3 个后代组成（Leighton, 1987）。但有些群体中生活有 2 只成年雌性（*N. hainanus*: Liu et al, 1989; Zhou et al, 2005; *N. concolor*: Jiang et al, 1999; Fan et al, 2006）或 2 只成年雄性（*Symphalangus syndactylus*：Lappan, 2007; *H. lar*: Brockelman et al, 1998; Sommer & Reichard, 2000)。鸣叫是长臂猿非常典型的一个行为特征，所有成年长臂猿个体都能发出嘹亮的鸣叫声，这些鸣叫声的结构复杂，具有种、性别，甚至群体特异性。长臂猿一般在日出之前或日出后的几个小时内鸣叫，除了克氏长臂猿（*H. kloss*）(Tenaza, 1976)和银灰长臂猿(*H. moloch*) (Kappeler, 1984)外，其他配对的成年长臂猿都能发出结构复杂、配合默契的二重唱（duet）（Marshall & Marshall, 1976; Geissmann, 2002）。这种结构复杂的二重唱被认为具有防御资源和领域（resource and territory defense）、防御配偶(mate defense)、强化配对关系(pairbonding)、凝聚群体(group cohesion)和吸引配偶(mate attraction)的功能（Cowlishaw, 1992）。

长臂猿嘹亮的叫声通常被用于野生长臂猿种群的分布和数量调查，以用于制定合理的保护措施（Brockelman & Srikosamatara, 1993）。了解长臂猿的鸣叫习性有助于研究人员在野外调查期间合理地确定监听时间，并更加准确地判断长臂猿的种群密度。由于各种长臂猿的叫声具有明显差异（Geissmann, 2002），在野外调查中长臂猿的叫声也被用来判断该区域分布的长臂猿物种。如 Konrad & Geissmman（2006）通过对柬埔寨野生黄颊长臂猿（*Nomascua gabriellae*）的声音进行分析，认为其野生种群可能分为两个不同的分类单元。因此，对长臂猿的鸣叫行为进行研究具有重要的实践意义。

截至目前为止，有 4 篇研究论文报道了西黑冠长臂猿的鸣叫行为(Haimoff et al, 1987; Lan, 1993; Jiang & Wang, 1997; Fan et al, 2007)。Haimoff et al (1987)和 Lan（1993）仅将鸣叫行为作为相关研究的一个部分，初步报道了西黑冠长臂猿的二重唱的结构、声谱、发生时间和持续时间等，而 Jiang & Wang (1997)则分析了鸣叫的发生时间、频次、持续时间和相邻群体间的影响。 Fan et al (2007)分析了西黑冠长臂猿的鸣叫行为对相邻群体鸣叫行为的影响，进而探讨了鸣叫的功能。本文基于长时间的野外监测和大量的录音数据，分析了西黑冠长臂猿雌雄两性鸣叫基本单位的声谱特征、二重唱的结构、鸣叫的起始时间、持续时间、频次和雌性长臂猿激动鸣叫的特征，同时也简单探讨了其群间差异。这些结果将为野生西黑冠长臂猿种群数量调查和西黑冠长臂猿的亚种分类提供重要的基础数据。

## 1 研究方法

本研究在云南省中部无量山西坡大寨子（24°21′N, 100°42′E）进行。5 群西黑冠长臂猿呈链珠状分布于该区域的中山湿性常绿阔叶林和半湿润常绿阔叶林中。根据大寨子的地形和长臂猿群体的活动范围，选择一个固定的听点。由于该区域地形十分陡峭，利于长臂猿的声音传播。在该听点可清楚听到 3 个群体发出的鸣叫声，而且该听点视野开阔，能看到这 3 个群体的活动范围。2003 年 3 月—2004 年 3 月，每月至少监测 10 d，计 187 d。每天日出前 30 min，监测人员到听点，等待长臂猿鸣叫。记录当天日出时间（通过 GPS）、鸣叫的群体、鸣叫开始和结束时间、雌性激动鸣叫开始时间及鸣叫点的位置等数据（Fan et al, 2007）。

2007 年 3 月和 2008 年 3 月在大寨子利用 Sony

TC-D5 Pro2 录音机、Sony C-76 指向性话筒和 Sony 录音磁带对大寨子西黑冠长臂猿鸣叫进行了录音，录音时没有开启录音机的降噪功能。当听到长臂猿的叫声后开始录音，在长臂猿鸣叫结束后 2 min 结束录音。录音距离一般在 200～500 m 之间。由于长臂猿声音嘹亮，录音地点地势空旷，虽然录音距离较远，但仍然录到了相对较好的声音。从录取的声音文件中选择音质最好的 5 个进行声谱分析。原始文件首先被转换成 wav 格式，再用 Signal/RTS 4.0 (Enginneer Design) 进行声谱分析（fast Fourier transform，Hanning Windows, 512-pt FFT)，并将声谱保存为图片格式。

为了消除昼长变化对鸣叫起始时间的影响，在分析鸣叫的开始时间时，将鸣叫起始时间减去日出时间得到相对日出的起始时间。用 Mann-Whitney *U* test 检验旱雨季间鸣叫起始时间和激动鸣叫次数间的差异。因为鸣叫的持续时间呈正态分布，用 *T*-test 检验旱雨季间鸣叫持续时间的差异。用 Spearman's correlation 检验激动鸣叫的次数和鸣叫的持续时间之间的关系。

## 2 结 果

### 2.1 雄性鸣叫声的声谱特征

雄性的鸣叫声由 3 种类型的声音组成，即：起始音节（boom）、简单的重复音节（aa notes）和调节音节（modulated figures）组成。起始音节由一个简单的音节组成，持续时间大约 0.5 s，基本频率 0.5 kHz。由于该音节声音强度很低，不易与背景噪音区别，多数录音记录不能对该音节行定量分析。紧跟在起始音节后的是简单的重复音节。简单的重复音节由 1～13 个相似的、短的音节组成（mean= 9.2，*n*=35)，每个音节平均持续时间 0.25 s（range：0.04～0.48 s, *SD*=0.07，*n*=323），音节之间的平均间隔时间 0.34 s（range：0.08～1.4 s, *SD*=0.15, *n*=292），频率 1 kHz，由于持续时间短，其频率几乎没有变化(图 1a)。根据频率变化的强度，可以将调节音节分为弱调节音节（weakly modulated figures）和强调节音节（multi-modulated figures）。前者由 1～4 个音节组

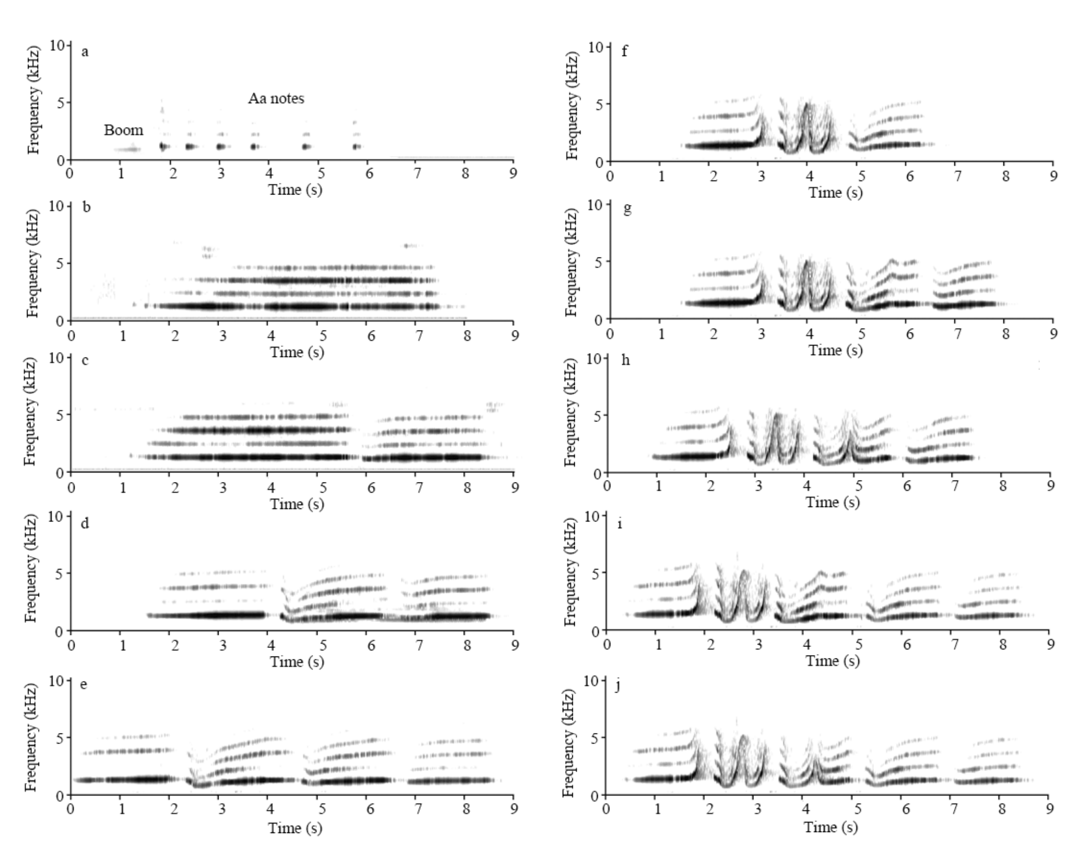



图 1 无量山大寨子雄性西黑冠长臂猿不同声音类型的声谱图

Fig. 1 The sonogram of adult western black crested gibbon male's call types in Wuliang Mountain

a：起始音节和重复音节；b－e：弱调节音节；f－h：强调节音节。

A：boom and aa notes; b－e：weakly modulated figures; f－h：modulated figures.

成（图 1: b—e）；后者由 3～5 个音节组成，其特征是第 2 个音节具有非常明显频率变化(图 1: f–j)，有时第 3 个音节也有类似的变化(图 1: h, j)，变频时的最高频率可达到 5 828 Hz（表 1）。各种类型调节

**表 1 无量山大寨子西黑冠长臂猿雄性变频鸣叫的声谱特征** (其类型与图 1 对应)

**Tab. 1 Characters of adult male's modulated figures of western black crested gibbons in Dazhaizi, Wuliang Mountain** (sonograms of different types were showed in Fig. 1)

| 类型 Type | 特征 Characters | 频率 Frequency (Hz) | | | | 持续时间 Duration (s) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 开始 Beginning | 结束 Ending | 最低 Minimum | 最高 Maximum | |
| B | Mean | 1215 | 1216 | 1215 | 1216 | 6.31 |
| | *N* | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| C | Mean | 1115 | 1167 | 775 | 1274 | 5.34 |
| | *N* | 3 | 3 | 3 | 3 | 3.00 |
| | *SD* | 221 | 18 | 129 | 32 | 1.71 |
| | Minimum | 860 | 1146 | 637 | 1242 | 3.41 |
| | Maximum | 1242 | 1178 | 892 | 1306 | 6.66 |
| D | Mean | 1245 | 1175 | 701 | 1347 | 7.13 |
| | *N* | 10 | 10 | 10 | 10 | 14.00 |
| | *SD* | 28 | 28 | 77 | 26 | 0.64 |
| | Minimum | 1210 | 1115 | 637 | 1306 | 6.04 |
| | Maximum | 1274 | 1210 | 892 | 1401 | 8.21 |
| E | Mean | 1224 | 1178 | 664 | 1406 | 8.53 |
| | *N* | 7 | 7 | 7 | 7 | 7.00 |
| | *SD* | 17 | 26 | 29 | 108 | 0.38 |
| | Minimum | 1210 | 1146 | 637 | 1306 | 8.11 |
| | Maximum | 1242 | 1210 | 701 | 1624 | 9.12 |
| F | Mean | 1210 | 1178 | 637 | 4522 | 6.02 |
| | *N* | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.00 |
| G | Mean | 1222 | 1186 | 638 | 4764 | 7.35 |
| | *N* | 53 | 53 | 53 | 53 | 73.00 |
| | *SD* | 44 | 24 | 8 | 447 | 0.92 |
| | Minimum | 1178 | 1115 | 605 | 2325 | 2.93 |
| | Maximum | 1433 | 1242 | 669 | 5127 | 9.34 |
| H | Mean | 1258 | 1186 | 637 | 4897 | 6.82 |
| | *N* | 8 | 8 | 8 | 8 | 8.00 |
| | *SD* | 45 | 23 | 0 | 322 | 0.23 |
| | Minimum | 1178 | 1146 | 637 | 4299 | 6.52 |
| | Maximum | 1338 | 1210 | 637 | 5414 | 7.24 |
| I | Mean | 1194 | 1182 | 639 | 5022 | 8.64 |
| | *N* | 16 | 16 | 16 | 16 | 17.00 |
| | *SD* | 78 | 20 | 14 | 369 | 0.53 |
| | Minimum | 924 | 1146 | 605 | 4490 | 7.94 |
| | Maximum | 1274 | 1210 | 669 | 5828 | 10.22 |
| J | Mean | 1262 | 1180 | 634 | 5032 | 8.28 |
| | *N* | 19 | 19 | 19 | 19 | 20.00 |
| | *SD* | 48 | 20 | 10 | 232 | 0.53 |
| | Minimum | 1178 | 1146 | 605 | 4363 | 6.27 |
| | Maximum | 1369 | 1210 | 637 | 5541 | 8.82 |

音节的具体特征见表 1。上一个调节音节结束到下一个重复音节开始的平均间隔时间为 12.8 s（range：5.7～51.9，*SD*=6.2，*n*=139）。

## 2.2 雌性鸣叫声的声谱特征

雌性长臂猿一般只会发出一种类型的声音，即固定而刻板的激动鸣叫（great call），它至少能传播 2 km。但根据其是否完整可以分为成功的激动鸣叫（great call）和失败的激动鸣叫（abortive great call）。成功的激动鸣叫由 1～2 个开始音节（introductory notes）和 6 个左右重复的 wa 音节（wa notes）组成，以结构极其复杂的颤音（trill）结尾，平均持续时间 10.3 s（range：7.9～14.6, *SD*=1.8 s, *n*=26）。成功的激动鸣叫的开始频率平均为 632 Hz（range：541～764, *SD*=75, *n*=21），结束频率平均为 846 Hz（range：541～1242, *SD*=223, *n*=21），最低频率为 600 Hz（range：541～637, *SD*=32, *n*=21），最高频率为 4 033 Hz（range：3535～4522, *SD*=350, *n*=21）(图 2: c, d)。失败的激动鸣叫一般只有开始音节，没有 wa 音节和颤音。同一个群体中的两只雌性既能同时激动鸣叫，也能单独激动鸣叫(图 2: c,d)。

## 2.3 二重唱的结构特征

二重唱的结构特征见图 3。西黑冠长臂猿典型

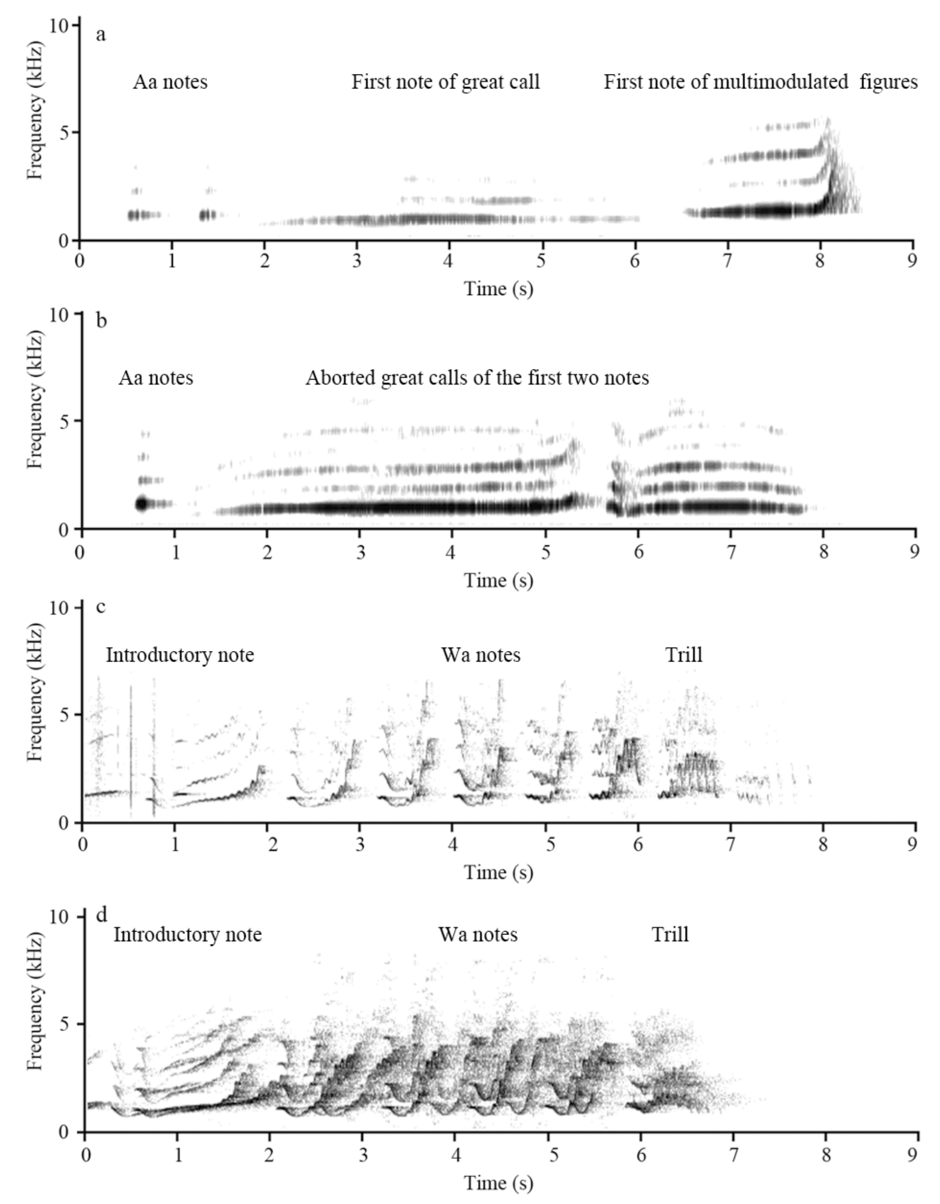



图 2 无量山大寨子雌性西黑冠长臂猿不同类型声音的声谱

Fig. 2 The sonogram of adult western black crested gibbon female's call sequence in Wuliang Mountain

a 和 b：失败的激动鸣叫，显示延长的开始音节；c：一个雌性的成功激动鸣叫；d：两个雌性的成功激动鸣叫。

a, b：abortive great call; c：great call produced by one female; d：great call produced by two females.

的二重唱通常由成年雄性发起，并占主导地位，且也一般由雄性结束。开始部分由雄性的多个弱调节音节组成，随着鸣叫的进行，音节数逐渐增加，此部分通常不包含起始音节和简单的重复音节。慢慢地雄性开始发出起始音节和简单的重复音节，弱调节音节也逐渐变成强调音节。一般 1 个雄性叫声序列包含 1 个起始音节、一系列的简单重复音节和 1 个调节音节（图 3）。偶尔雄性也会发出 2 个或 3 个起始音节以及紧跟其后的简单的重复音节系列，然后才发出调节音节。一个激动鸣叫序列由 1 个起始音节、一系列的简单重复音节、一次激动鸣叫和 1 个强调节音节组成（图 3）。通常，激动鸣叫跟在简单的重复音节后，尽管偶尔会发生在强调节音节后面。雌性激动鸣叫结束后，雄性马上发出调节音节与之配合，雄性调节音节与雌性激动鸣叫的时间间隔平均为 2.7 s（range: 1.6～4.9, *SD*= 0.8, *n*=26）。

### 2.4 鸣叫频率、起始时间和激动鸣叫次数

监测期间，共记录到 319 次鸣叫。G1 群在 93 d 中鸣叫 96 次，G2 群在 99 d 中鸣叫 109 次，G3 群在 106 d 中鸣叫 114 次，平均每个群体的鸣叫频次为 53%。一个群体一般每天只鸣叫 1 次，偶有 2 次（G1 群 3 d、G2 群 8 d 和 G3 群 6 d），极少数情况下 1 d 鸣叫 3 次（G2 和 G3 各 1 d）。总的来看，如果发生鸣叫，一个群体平均每天鸣叫 1.09 次。91.5%的鸣叫发生在日出前 0.5 h 至日出后 3 h 之间，其中 48.6%的鸣叫发生在日出后 1 h 内（图 4）。观察记录中，鸣叫开始的最早时间是在 2003 年 11 月 5 日，G2 群在日出前 17 min 即开始鸣叫；最晚是

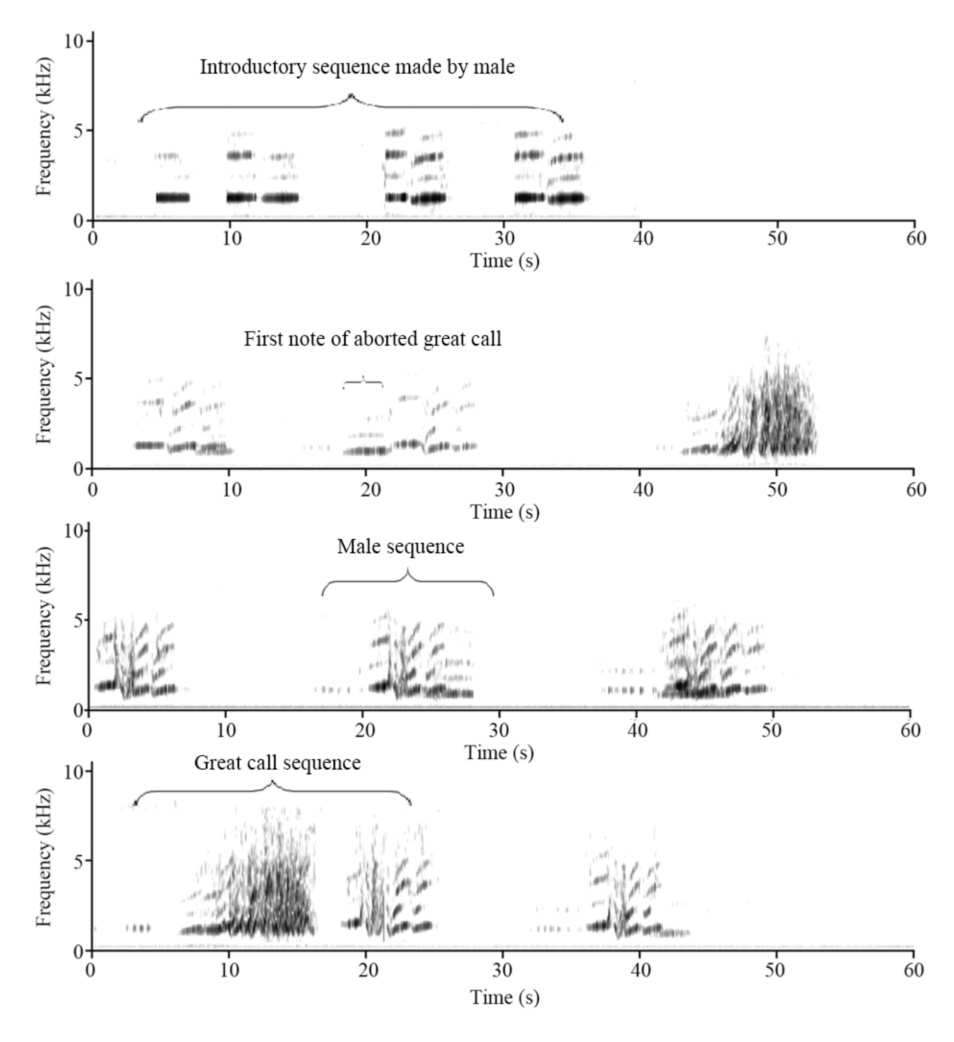



图 3 无量山大寨子西黑冠长臂猿的二重唱前 4 min 的声谱图，显示了二重唱的结构和顺序，以及雌雄两性声音的配合

Fig. 3 The sonogram of a duet of western black crested gibbon in the first 4 minutes in Wuliang Mountain, showing the structure of the duet, male sequence and great call sequence

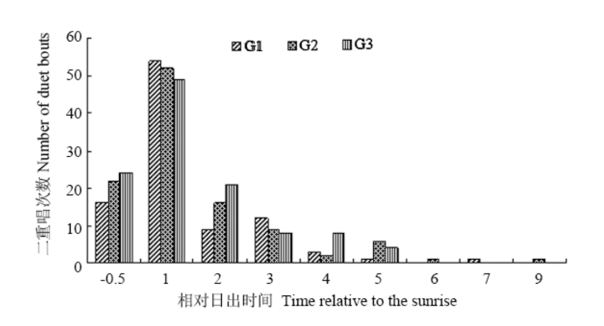



图 4 无量山大寨子 3 群西黑冠长臂猿相对于日出的鸣叫开始时间

Fig. 4 The distribution of starting time of the duet bouts relative to the sunrise, produced by 3 western black crested gibbon groups in Dazhaizi, Wuliang Mountain

在 2003 年 11 月 7 日，在日出 490 min 后听到 G2 群鸣叫。鸣叫的平均持续时间为 12.9 min（rang：1.7~32.1, *SD*=4.9, *n*=319）。在一次鸣叫中，雌性平均发出成功的激动鸣叫 4.6 次（rang：0～15, *SD*=2.5, *n*=319)，两次成功的激动鸣叫之间的时间间隔平均为 115 s（rang：21～530, *SD*=67.2, *n*=859）。激动鸣叫的次数和鸣叫的持续时间显著正相关(Spearman's rho: *r*=0.555, *P*=0.000) 。除了 G1 群在旱季鸣叫时间更早外，其他所有特征在旱雨季间都无显著差异（表 2）。

### 2.5 群体间差异

群体间均未显示出鸣叫频次(Mann-whitney Test: $Z_{G1\text{-}G2}=-1.134$, $P=0.257$; $Z_{G2\text{-}G3}=0.000$, $P=1.000$; $Z_{G1\text{-}G3}=1.341$, $P=0.180$)和持续时间上的差异($t$ Test: $t_{G1\text{-}G2}=0.226$, $P=0.822$; $t_{G2\text{-}G3}=-0.088$, $P=0.930$; $t_{G1\text{-}G3}=0.137$, $P=0.891$)，但是激动鸣叫次数(Mann-whitney Test: $Z_{G1\text{-}G2}=-1.210$, $P=0.226$; $Z_{G2\text{-}G3}=-4.325$, $P=0.000$; $Z_{G1\text{-}G3}=-5.160$, $P=0.000$)和激动鸣叫的时间间隔具有显著性差异(Mann-whitney Test: $Z_{G1\text{-}G2}=-2.126$, $P=0.033$; $Z_{G2\text{-}G3}=-3.522$, $P=0.000$; $Z_{G1\text{-}G3}=-1.563$, $P=0.118$)。

## 3 讨 论

### 3.1 声音传播和群间通讯

对栖息在热带和亚热带森林中的动物来说，由于视觉通讯受到阻碍，声音通讯是一种非常重要的通讯方式。为了有效地和同一区域生活的其他群体进行交流，完成防御资源和领域、防御和吸引配偶等群间通讯功能，长臂猿必须尽可能远地传播其声音。Haimoff（1984）和 Whitten（1982) 的研究已经证明: 长臂猿鸣叫的声音特征有利于在森林中长距离传播。相对于高频率的声音来说，低频率的声音在潮湿的环境中被吸收的更慢、传播的距离更远(Waser & Waser, 1977)。因此，为了声音远距离传播，长臂猿应该进化出频率相对较低的声音(Whitten, 1982)。除了冠长臂猿属外，其他长臂猿的叫声频率一般不超过 2 kHz。但是，西黑冠长臂猿雄性的强调节音节和雌性成功的激动鸣叫的频率达到甚至超过了 4 kHz，明显高于其他类群的长臂猿，甚至高于同属的白颊长臂猿（Schilling, 1984）和海南长臂猿（Haimoff, 1984）。Haimoff（1984）对海南长臂猿声音结构进行分析后，认为"高纬度地区的森林结构比低纬度地区热带雨林更加稀疏。因此，在热带雨林中促使动物声音进化的选择压力可能对高纬度森林中的动物作用不明显"。本研究的西黑冠长臂猿生活在北纬 24°21′的中山湿性常绿阔叶林和半湿润常绿阔叶林中，比白颊长臂猿和海南长臂猿的栖息地纬度更高、海拔更高，森林可能更稀疏。虽然西黑冠长臂猿的声音频率高于其他长臂猿，但其声音仍然能传播 2 km 左右（本研究）。除了声音频率的影响外，森林中的温度梯度也会影响声音传播的距离。为了将声音传播得更远，西黑冠长臂猿选择在清晨鸣叫，因为在清晨森林中的温度梯度小，声音散射慢，有利于声音的传播(Mitani, 1985; Whitten, 1982)。此外，长臂猿选择在高大的树上鸣叫，这也有利于声音的传播(Waser & Waser, 1977; Whitten, 1982)，而无量山山势陡峭，西黑冠长臂猿则选择在陡坡的大树上鸣叫（Fan, 2007)，更便于声音的长距离传播。

西黑冠长臂猿一个完整的二重唱由多个重复的雄性鸣叫序列和激动鸣叫序列组成。Waser & Waser (1977)认为多个重复的声音结构有利于信号接收者将声音同背景噪音区别开来，因为接收者的注意力能被重复的声音所吸引。另外，多个重复的声音序列也能够弥补声音远距离传播造成的弱化，信号接收者通过鸣叫的一部分就能获得整个鸣叫所包含的信息（Richards & Wiley, 1980; Wiley & Richards, 1982）。

### 3.2 西黑冠长臂猿二重唱与白颊长臂猿和海南长臂猿的比较

西黑冠长臂猿雌雄两性基本声音结构、声谱特

征和二重唱的结构与同属的白颊长臂猿（Schilling, 1984）和海南长臂猿（Haimoff, 1984）表现出了一定的相似性，例如：雄性的叫声都由起始音节、简单的重复音节和调节音节组成；雌性都只发出成功的或失败的激动鸣叫；雌雄间差异非常明显；二重唱中雄性的叫声占多数。这些特征都显示出黑冠长臂猿属（*Nomascus*）内物种叫声的共性，而与其他属长臂猿之间的明显差异。西黑冠长臂猿与白颊长臂猿和海南长臂猿在声音结构等方面具有很大的相似性，但在二重唱的顺序结构上存在微小的差异。Schilling (1984)和 Haimoff (1984)从来没有观察到雄性产生连续的2个或2个以上的起始音节和简单重复音节序列；并且 Schilling (1984)观察到在一次二重唱中，雌性的激动鸣叫全部跟在雄性的强调音节之后，这种现象在西黑冠长臂猿中从来没有发生过；Schilling (1984)在观察5对白颊长臂猿的鸣叫时，发现其中2对总是雌性首先开始鸣叫，另有1对雌雄两性都能发起鸣叫，只有2对总是由雄性首先鸣叫，而西黑冠长臂猿几乎总是由雄性发出二重唱的第一个音节。

**表 2 无量山大寨子3群西黑冠长臂猿鸣叫的时间特征**

**Tab. 2 Timing of the duets of the three studied groups of western black crested gibbon in Mt. Wuliang**

| | G1 | | | G2 | | | G3 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 旱季 Dry season | 雨季 Wet season | 全年 Total | 旱季 Dry season | 雨季 Wet season | 全年 Total | 旱季 Dry season | 雨季 Wet season | 全年 Total |
| 监测天数 Monitoring days | 109 | 78 | 187 | 109 | 78 | 187 | 109 | 78 | 187 |
| 鸣叫天数 Singing days | 47 | 46 | 93 | 55 | 44 | 99 | 67 | 39 | 106 |
| 鸣叫次数 Duet bouts | 48 | 48 | 96 | 61 | 48 | 109 | 73 | 41 | 114 |
| 鸣叫次数/鸣叫天数 Duet bouts/singing days | 1.02 | 1.04 | 1.03 | 1.11 | 1.10 | 1.10 | 1.09 | 1.05 | 1.08 |
| 鸣叫次数/监测天数 Duet bouts/monitoring days | 0.44 | 0.62 | 0.51 | 0.56 | 0.62 | 0.58 | 0.67 | 0.53 | 0.61 |
| 相对日出开始时间 Starting time related to sunrise (min) | 30.4 | 68.4 | 49.4 | 56.7 | 70.9 | 63.0 | 44.5 | 82.7 | 58.2 |
| Mann-Whitney *U* test | $Z=-2.334$, $P=0.020$ | | | $Z=-1.007$, $P=0.314$ | | | $Z=-1.562$, $P=0.118$ | | |
| 持续时间 Duet duration (min) | 13.7 | 12.4 | 13.0 | 13.5 | 12.1 | 12.8 | 13.1 | 12.6 | 13.0 |
| *t* test | $t=1.285$, $P=0.202$ | | | $t=1.533$, P=0.128 | | | $t=0.615$, $P=0.540$ | | |
| 激动鸣叫次数 The number of great calls | 5.4 | 5.4 | 5.4 | 4.9 | 5.0 | 5.0 | 3.3 | 4.0 | 3.6 |
| Mann-Whitney *U* test | $Z=-0.769$, $P=0.442$ | | | $Z=-0.339$, $P=0.735$ | | | $Z=-1.186$, $P=0.236$ | | |
| 激动鸣叫的时间间隔 Intervals between two great calls (s) | | | 116 | | | 107 | | | 126 |

西黑冠长臂猿的鸣叫行为在不同的地理种群间具有高度的一致性。关于鸣叫行为的研究，前人的研究地点分布在无量山小坝河（Sheeran, 1993; Lan, 1993: GA 和 GC 群；Jiang & Wang，1997）、孟令上场河（Jiang & Wang，1997: GS）、Bayenza, Shin Chuen 和 Wenpu（Haimoff et al, 1987）以及哀牢山徐家坝（Haimoff et al, 1987）等地。所有这些研究都显示西黑冠长臂猿鸣叫主要发生在早晨，鸣叫的持续时间为 12 min 左右、鸣叫频次大约为 50%、在发生鸣叫的情况下一般只叫 1 次。此外，雌雄两性基本的声音结构和二重唱的结构等特征在不同地理种群间表现出了稳定的种内一致性。

### 3.3 西黑冠长臂猿二重唱的群间差异

在本研究中，西黑冠长臂猿二重唱的持续时间和发生频次在群体间没有显著差异，但与雌性激动鸣叫相关的两个指标（次数和时间间隔）却表现出了显著差异。在对其他几种长臂猿雌性叫声的声谱特征研究中，敏长臂猿（*H. agilis*）（Haimoff & Gittins, 1985）、克氏长臂猿（*H. klossii*）（Haimoff & Tilson, 1985）和银灰长臂猿（*H. moloch*）（Dallmann & Geissmann, 2001）都表现出了个体差异。这种个体间的差异有利于特定群体的识别，这使信号的接收者能够准确地判断相邻群体和陌生的领域入侵者，并正确有效地作出反应（Stoddard, 1996）。因为对于一个拥有领域的群体来说，陌生的领域入侵者比同样拥有领域的相邻群体具有更大的威胁。在对鸟类的相关研究中，Brooks & Falls（1975）发现雄鸟对陌生的领域入侵者叫声的反应比对相邻群体的反应更加剧烈和富有侵略性。

### 3.4 研究结果的应用

长臂猿鸣叫的属、种间特异性和种内的一致性，说明利用声音对长臂猿进行物种识别是一种有效的方法，对长臂猿声音的分析将为长臂猿的分类提供佐证。Marshall & Marshall（1976）通过对长臂猿的叫声进行分析，从而提出将长臂猿科划分为 9 个种。Mitani(1987)对敏长臂猿进行了叫声回放试验，结果证明其能准确判断是同种或是不同种（穆氏长臂猿）的叫声，进而支持将这两种长臂猿划分成独立的种。这种识别方法在野外长臂猿调查中也将发挥重要的作用，因为短期的野外调查很难直接观察到长臂猿个体，但长臂猿声音嘹亮，传播距离远，很容易在野外对其进行录音。Konrad & Geissmman（2006）通过对柬埔寨野生黄颊长臂猿（*Nomascua gabriellae*）的声音进行分析，认为其野生种群可能分为两个不同的分类单元。这项工作提示了我们在以后的野外调查中对群体叫声进行录音的重要性。

本文提供的基础资料也将为今后西黑冠长臂猿种群数量调查提供有用的信息：1）西黑冠长臂猿的鸣叫主要发生在日出前半小时和日出后 3 h，因此监听时间应该覆盖这个时间段；2）一个群体通常 1 d 只叫 1 次， 如果在某个听点 1 d 中最多听到 N 次鸣叫，则可初步判断该听点的范围内有 N 个群体；3）如果某次鸣叫的时间远远超过其平均鸣叫时间，则提示调查者可能在同一方向有两个群体的鸣叫发生了重叠。这些信息需要延长监测时间来进行确认，但至少可以提醒监测人员及时调整调查强度以获得更为准确的数据。

**致谢：**本研究得到景东无量山哀牢山国家级自然保护区李忠林局长、李江林副局长、谢有能主任、罗忠华及罗莹莹等同志的帮助，在此一并致谢！同时也特别感谢景东县无量山大寨子的野外工作助手刘业昆和刘业勇两位同志所给予的帮助。

**参考文献：**

Brockelman WY, Srikosamatara S. 1993. Estimation of density of gibbon groups by use of loud songs [J]. *Am J Primatol*, **29**(2): 93-108.

Brockelman WY, Reichard U, Treesucon U, Raemaekers JJ. 1998. Dispersal, pair formation and social structure in gibbons (*Hylobates lar*) [J]. *Behav Ecol Sociobiol*, **42**: 329-339.

Brooks R, Falls JB. 1975. Individual recognition by song in white-throated sparrows. I: discrimination of songs of songs of neighbors and strangers [J]. *Can J Zool*, **53**: 879-888.

Cowlishaw G. 1992. Song function in gibbons [J]. *Behaviour*, **121**(1-2): 131-153.

Dallmann R, Geissmann T. 2001. Different levels of variability in the female song of wild silvery gibbons (*Hylobates moloch*) [J]. *Behaviour*, **138**: 629-648.

Fan PF, Jiang XL, Liu CM, Luo WS. 2006. Polygynous mating system and behavioral reason of black crested gibbon (*Nomascus concolor jingdongensis*) at Dazhaizi, Mt. Wuliang, Yunnan, China [J]. *Zool Res*, **27**(2): 216-220.

Fan PF, Liu CM, Luo WS, Jiang XL. 2007. Can a group elicit duets from its neighbours? A field study on the black-crested gibbon (*Nomascus concolor jingdongensis*) in central Yunnan, China [J]. *Folia Primatol*, **78**: 186-195.

Fan PF. 2007. The ecology and behavior of black crested gibbon (*Nomascus

*concolor jingdongensis*) at Dazhaizi, Wuliang Mountain, Yunnan, China [D]. Ph.D. thesis, Kunming Institute of Zoology, Chinese Academy of Science, Kunming.[范朋飞. 2007. 云南中部无量山大寨子黑长臂猿（*Nomascus concolor jingdongensis*）生态与行为研究. 中国科学院研究生院博士毕业论文. 中国科学院昆明动物研究所: 昆明.]

Geissmann T. 2002. Duet-splitting and the evolution of gibbon songs [J]. *Biol Rev*, **77**: 57-76.

Geissmann T. 2007. Status reassessment of the gibbons: Results of the Asian Primate Red List workshop 2006 [J]. *Gibbon J*, **3**: 5-15.

Haimoff EH. 1984. The organization of song in the Hainan black gibbon (*Hylobates concolor hainanus*) [J]. *Primates*, 25(2): 225-235.

Haimoff EH, Gittins P. 1985. Individuality in the songs of wild agile gibbons (*Hylobates agilis*) of Peninsular Malaysia [J]. *Am J Primatol*, **8**: 239-247.

Haimoff EH, Tilson RL. 1985. Individuality in the female songs of wild kloss' gibbons (*Hylobates klossii*) on Siberut Island, Indonesia [J]. *Folia Primatol*, **44**: 129-137.

Haimoff EH, Yang XJ, He XJ, Chen N. 1987. Preliminary observations of wild black-crested gibbons (*Hylobates concolor*) in Yunnan Province, People's Republic of China [J]. *Primates*, **28**: 319-335.

IUCN. 2008 IUCN Red List of Threatened Species[EB/OL]. IUCN, Gland, Switzerland Http://www.redlist.org [accessed 27 January 2009].

Jiang XL, Luo ZH, Zhao SY, Li RZ, Liu CM. 2006. Status and distribution pattern of black crested gibbon (*Nomascus concolor jingdongensis*) in Wuliang Mountains, Yunnan, China: implication for conservation [J]. *Primates*, **47**(3), 264-271.

Jiang XL, Wang YX. 1997. The singing ecology and behaviour of black-crested gibbons [J]. *Acta Anthropol Sin*, **16**(4): 293-301. [蒋学龙, 王应祥. 1997. 黑长臂猿(*Hylobates concolor*)鸣叫行为研究. 人类学学报，**16**(4): 293-301.]

Jiang XL, Wang YX, Wang Q. 1999. Coexistence of monogamy and polygyny in black-crested gibbon (*Hylobates concolor*) [J]. *Primates*, **40**: 607-611.

Kappeler M. 1984. Vocal bouts and territorial maintenance in the Moloch gibbon [C]// Preuschoft H, Chivers DJ, Brockelman WY, Creel N. The Lesser Apes. Edinburgh: Edinburgh University Press, 376-389.

Konrad R, Geissmann T. 2006. Vocal diversity and taxonomy of Nomascus in Cambodia [J]. *Int J Primatol*, **27**(3): 713-745.

Lappan S. 2007. Social relationships among males in multimale Siamang groups [J]. *Int J Primatol*, **28**: 369-387.

Lan DY. 1993. Feeding and vocal behaviour of black crested gibbons (*Hylobates concolor*) in Yunnan: a preliminary study [J]. *Folia Primatol*, **60**: 94-105.

Leighton D. 1987. Gibbons: territoriality and monogamy [C]// Smuts BB, Cheny DL, Seyfarth RM, Wrangham RW, Struhsaker TT. Primate Societies. Chicago: University of Chicago Press, 135-145.

Liu Z, Zhang Y, Jiang H, Southwick C. 1989. Population structure of *Hylobates concolor* in Bawanglin Nature Reserve, Hainan, China [J]. *Am J Primatol*, **19**: 247-254.

Marshall JT, Marshall ER. 1976. Gibbons and their territorial song [J]. *Science*, **193**: 235-237.

Mitani JC. 1985. Gibbon song duets and intergroup spacing [J]. *Behaviour*, **92**: 59-95.

Mitani JC. 1987. Territoriality and monogamy among aglie gibbons (*Hylobates agilis*) [J]. *Behav Ecol Sociobiol*, **20**: 265-269.

Richards DG, Wiley RH. 1980. Reverberations and amplitude fluctuations in the propagation of sound in a forest: implications for animal communication [J]. *Am Nat*, **115**: 381-399.

Schilling D. 1984. Song bouts and duetting in the concolor gibbon [C]// Preuschoft H, Chivers DJ, Brockelman WY, Creel N. The Lesser Apes. Edinburgh: Edinburgh University Press, 390-403.

Sheeran LK. 1993. A preliminary study of the behavior and socio-ecology of black gibbons (*Hylobates concolor*) in Yunnan Province, People's Republic of China [D]. Ph.D. thesis, The Ohio State University.

Sommer V, Reichard U. 2000. Rethinking monogamy: the gibbon case [C]// Kappeler PM. Primate males: Cause and consequences of variation in group composition. Cambridge: Cambridge University Press, 159-168.

Stoddard PK. 1996. Vocal recognition of neighbors by territorial passerines [C]// Kroodsma DE, Miller EH. Ecology and evolution of acoustic communication in bird. New York, Ithaca: Cornell University Press, 356-374.

Tenaza RR. 1976. Songs, choruses and countersinging of kloss gibbons (*Hylobates klossii*) in Siberut Island [J]. *Z Tierpsychol*, **40**: 37-52.

Waser P, Waser M. 1977. Experimental studies of primate vocalization: specialization for long distance propagation [J]. *Z Tierpsychol*, **43**: 239-263.

Whitten A. 1982. The ecology of singing in Kloss gibbons (*Hylobates klossii*) on Siberut Island, Indonesia [J]. *Int J Primatol*, **3**: 33-51.

Wiley RH, Richards DG. 1982. Adaptations for acoustic communication in birds: sound transmission and signal detection [C ]// Kroodsma DE, Miller EH, Ouellet H. Acoustic Communication in Birds: Vol. 1. New York: Academic Press, 131-181.

Zhou J, Wei FW, Li M, Zhang JF, Wang DL, Pan RL. 2005. Hainan black-crested gibbon is headed for extinction [J]. *Int J Primatol*, **26**: 453-465.